

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2004/002728

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B22D11/115

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B22D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 02, 29 February 2000 (2000-02-29) -& JP 11 320054 A (NIPPON STEEL CORP), 24 November 1999 (1999-11-24) abstract; figures 1-3 -----	1-10
A	FR 2 358 223 A (SIDERURGIE FSE INST RECH) 10 February 1978 (1978-02-10) "propagation du champ magnétique selon le sens ascensionnel depuis la partie inférieure de la lingotière jusqu'au ménisque" page 1 - page 3; claims 1-3 ----- -/--	1-10



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance, the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance, the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 April 2005

Date of mailing of the international search report

29/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lombois, T

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2004/002728

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 14, 5 March 2001 (2001-03-05) -& JP 2000 317593 A (NIPPON STEEL CORP), 21 November 2000 (2000-11-21) "electromagnetic stirring" abstract; figures 1,3,5 -----	1-10
A	EP 0 909 598 A (EBIS CORP) 21 April 1999 (1999-04-21) page 5; claims 28-38; figures 2,13,30 -----	1-10
A	KUNSTREICH S: "ELECTROMAGNETIC STIRRING FOR CONTINUOUS CASTING - PART I BRASSAGE ELECTROMAGNETIQUE POUR COULEE CONTINUE. PARTIE I" REVUE DE METALLURGIE, REVUE DE METALLURGIE. PARIS, FR, vol. 100, no. 4, April 2003 (2003-04), pages 395-408, XP001186883 ISSN: 0035-1563 abstract; figure 17 -----	1-10
P,A	KUNSTREICH S: "ELECTROMAGNETIC STIRRING FOR CONTINUOUS CASTING (PART 2) BRASSAGE ELECTROMAGNETIQUE POUR COULEE CONTINUE (PARTIE 2)" REVUE DE METALLURGIE, REVUE DE METALLURGIE. PARIS, FR, vol. 100, no. 11, November 2003 (2003-11), pages 1043-1061, XP001046813 ISSN: 0035-1563 abstract; figures 26,46 -----	1-10
A	FUJISAKI K ET AL: "PHASE CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC STIRRING" IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 33, no. 5, PART 2, 1 September 1997 (1997-09-01), pages 4245-4247, XP000703324 ISSN: 0018-9464 abstract; figure 2 -----	1-10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/002728

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 11320054	A	24-11-1999	NONE	
FR 2358223	A	10-02-1978	FR 2358223 A1	10-02-1978
			BE 856670 A1	11-01-1978
			CA 1078043 A1	20-05-1980
			DE 2731239 A1	19-01-1978
			ES 460692 A1	16-05-1978
			GB 1558526 A	03-01-1980
			IT 1077321 B	04-05-1985
			JP 1292318 C	16-12-1985
			JP 53028034 A	15-03-1978
			JP 60011585 B	27-03-1985
			LU 77743 A1	02-02-1978
			NL 7707821 A ,B,	17-01-1978
			SE 433184 B	14-05-1984
			SE 7707979 A	14-01-1978
JP 2000317593	A	21-11-2000	NONE	
EP 0909598	A	21-04-1999	JP 9103856 A	22-04-1997
			JP 10118750 A	12-05-1998
			AU 7506996 A	05-12-1997
			CA 2255898 A1	20-11-1997
			EP 0909598 A1	21-04-1999
			US 6241004 B1	05-06-2001
			CN 1219896 A ,C	16-06-1999
			WO 9743064 A1	20-11-1997
			US 2002117290 A1	29-08-2002
			US 2002050336 A1	02-05-2002

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2004/002728

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 B22D11/115

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 B22D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no des revendications visées
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 02, 29 février 2000 (2000-02-29) -& JP 11 320054 A (NIPPON STEEL CORP), 24 novembre 1999 (1999-11-24) abrégé; figures 1-3	1-10
A	FR 2 358 223 A (SIDERURGIE FSE INST RECH) 10 février 1978 (1978-02-10) "propagation du champ magnétique selon le sens ascensionnel depuis la partie inférieure de la lingotière jusqu'au ménisque" page 1 - page 3; revendications 1-3 ----- -/--	1-10

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

## \* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent, l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

22 avril 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

29/04/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Lombois, T

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR2004/002728

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 14, 5 mars 2001 (2001-03-05) -& JP 2000 317593 A (NIPPON STEEL CORP), 21 novembre 2000 (2000-11-21) "electromagnetic stirring" abrégé; figures 1,3,5 -----	1-10
A	EP 0 909 598 A (EBIS CORP) 21 avril 1999 (1999-04-21) page 5; revendications 28-38; figures 2,13,30 -----	1-10
A	KUNSTREICH S: "ELECTROMAGNETIC STIRRING FOR CONTINUOUS CASTING - PART I BRASSAGE ELECTROMAGNETIQUE POUR COULEE CONTINUE. PARTIE I" REVUE DE METALLURGIE, REVUE DE METALLURGIE. PARIS, FR, vol. 100, no. 4, avril 2003 (2003-04), pages 395-408, XP001186883 ISSN: 0035-1563 abrégé; figure 17 -----	1-10
P,A	KUNSTREICH S: "ELECTROMAGNETIC STIRRING FOR CONTINUOUS CASTING (PART 2) BRASSAGE ELECTROMAGNETIQUE POUR COULEE CONTINUE (PARTIE 2)" REVUE DE METALLURGIE, REVUE DE METALLURGIE. PARIS, FR, vol. 100, no. 11, novembre 2003 (2003-11), pages 1043-1061, XP001046813 ISSN: 0035-1563 abrégé; figures 26,46 -----	1-10
A	FUJISAKI K ET AL: "PHASE CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC STIRRING" IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 33, no. 5, PART 2, 1 septembre 1997 (1997-09-01), pages 4245-4247, XP000703324 ISSN: 0018-9464 abrégé; figure 2 -----	1-10

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR2004/002728

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 11320054	A	24-11-1999	AUCUN	
FR 2358223	A	10-02-1978	FR 2358223 A1	10-02-1978
			BE 856670 A1	11-01-1978
			CA 1078043 A1	20-05-1980
			DE 2731239 A1	19-01-1978
			ES 460692 A1	16-05-1978
			GB 1558526 A	03-01-1980
			IT 1077321 B	04-05-1985
			JP 1292318 C	16-12-1985
			JP 53028034 A	15-03-1978
			JP 60011585 B	27-03-1985
			LU 77743 A1	02-02-1978
			NL 7707821 A ,B,	17-01-1978
			SE 433184 B	14-05-1984
			SE 7707979 A	14-01-1978
JP 2000317593	A	21-11-2000	AUCUN	
EP 0909598	A	21-04-1999	JP 9103856 A	22-04-1997
			JP 10118750 A	12-05-1998
			AU 7506996 A	05-12-1997
			CA 2255898 A1	20-11-1997
			EP 0909598 A1	21-04-1999
			US 6241004 B1	05-06-2001
			CN 1219896 A ,C	16-06-1999
			WO 9743064 A1	20-11-1997
			US 2002117290 A1	29-08-2002
			US 2002050336 A1	02-05-2002

**Procédé de brassage électromagnétique  
pour la coulée continue de produits métalliques de section allongée.**

La présente invention a trait à la coulée continue des métaux, notamment de l'acier. Elle concerne plus particulièrement le brassage électromagnétique de produits à section droite allongée en cours de coulée, et plus précisément encore l'établissement, au sein de la partie encore à l'état liquide du métal coulé, d'une distribution particulière des écoulements à l'aide de champs magnétiques appliqués.

On rappelle que l'on entend par "produit à section droite allongée" des produits métallurgiques dont la largeur est au moins le double de l'épaisseur, notamment les brames, bramettes, brames minces, etc....

Apparu dans le domaine de la coulée continue de l'acier au début des années soixante dix, le brassage électromagnétique s'y est rapidement affirmé comme un outil quasi-incontournable pour la maîtrise des écoulements dans le puits de métal liquide en cours de solidification. On rappelle que le principe le plus couramment mis en œuvre est celui bien connu de la Magnéto-HydroDynamique (MHD) qui, au moyen d'un champ magnétique mobile (tournant ou glissant) généré par un ou plus généralement plusieurs inducteurs polyphasés disposés au voisinage immédiat du produit coulé, entraîne le métal liquide dans son déplacement. Convenablement placés sur la hauteur métallurgique de la machine de coulée, ces inducteurs, alimentés en courant électrique à fréquence ajustable, permettent alors des modes de brassage variés, adaptables aux besoins du métallurgiste.

Par ailleurs, les progrès constants réalisés dans la compréhension des mécanismes de solidification du métal lors de la coulée continue montrent l'importance que revêtent précisément les mouvements de circulation du métal liquide sur la qualité en général (i.e. santé interne, propreté de surface ou inclusionnaire, structure de solidification, etc...) du produit solidifié obtenu.

A cet égard, les mouvements imprimés au métal en fusion au cours de la coulée continue peuvent schématiquement se classer en deux catégories distinctes, selon que l'on considère la lingotière ou, en dessous, les étages du refroidissement secondaire de la machine de coulée.

Les mouvements imposés au métal liquide au sein de la lingotière, là où la fraction métallique liquide est largement majoritaire, visent pour l'essentiel à un contrôle des écoulements à cet endroit sensible. C'est là en effet que se trouve la surface libre du métal coulé dont la propreté interne par exemple dépend beaucoup de la forme géométrique de cette surface. C'est là aussi que naît en particulier la première peau de solidification dont on sait l'importance majeure de celle-ci tant sur la qualité de surface du produit coulé obtenu que sur la maîtrise du processus de coulée lui-même.

En revanche, par un brassage du métal dans le puits liquide sous la lingotière, dans la zone du refroidissement secondaire par conséquent (on dit plus couramment "dans le secondaire"), on recherche davantage une amélioration de la structure métallurgique

interne du produit via le développement d'une solidification de type équiaxe la plus large possible que l'on sait favorable tant à la microségrégation des éléments d'alliage qu'à l'absence de porosités centrales du produit coulé, notamment. Ainsi, un recours à un brassage électromagnétique en coulée continue de brames est de plus en plus fréquent dès  
5 lors qu'il s'agit de réaliser des produits qui exigent une santé interne exempte de porosité, comme les tôles fortes pour plaques de chaudronnerie par exemple ou des gros tubes soudés.

On retiendra simplement ici, pour une meilleure compréhension de l'invention qui sera exposée par la suite, qu'il est bien connu, comme le montre le schéma de la figure  
10 3 ci-jointe venue du document FR 72.20546, de disposer, dans le refroidissement secondaire d'une machine de coulée continue de brames, d'inducteurs linéaires 41, 41' disposés en regard l'un de l'autre, de part et d'autre des grandes faces du produit coulé et produisant des champs magnétiques glissant transversalement selon la largeur de celui-ci. On vise ainsi à établir au sein du métal liquide des écoulements qui, pour l'essentiel, se  
15 développent en deux boucles adjacentes tournant en sens contraires. Ces boucles 42, 43 s'établissent parallèlement aux grandes faces et s'étagent selon la hauteur du produit coulé de part et d'autre d'une zone d'action motrice transversale commune du champ magnétique, les courants de chaque boucle remontant le long d'une petite face et descendant le long de la petite face opposée. Une telle configuration de mouvements est classiquement désignée  
20 de "configuration en ailes de papillon".

Il est possible, comme montré sur la figure 4 ci-jointe extraite, elle, du document FR 82.10844, de multiplier selon la hauteur de la machine de coulée les zones d'action motrice transversales 51, 52...des champs magnétiques. On leur confère dans ce cas des sens de rotation opposés deux à deux entre les boucles les plus proches voisines,  
25 afin par exemple de concerner un volume brassé le plus important possible pour une puissance de brassage disponible donnée. On réalise ainsi une topologie de mouvements, dite en "configuration en triple zéro" formée de trois boucles adjacentes tournant en sens opposé deux à deux: une boucle centrale-60 située entre les deux zones motrices transversales 51 et 52 et deux boucles externes, 61 et 62, de part et d'autre de la boucle  
30 centrale et tournant dans le même sens.

Quelle que soit la variante retenue, celle-ci peut être réalisée aussi bien avec des inducteurs placés derrière les rouleaux de soutien de la zone du refroidissement secondaire de la machine de coulée, qu'entre ces rouleaux (FR 72.20547), ou logés au sein même de ceux-ci (FR 72.20546). Il en est d'ailleurs de même pour ce qui concerne les  
35 moyens de mise en œuvre de l'invention qui seront explicités par la suite.

Il semble bien que, historiquement, la découverte de ce type de mouvements, basé sur une recirculation du métal en boucles se développant dans un plan parallèle aux grandes faces de la brame, provienne du fait que, contrairement aux produits longs, en



coulée continue de produits plats, la forme allongée de la section droite du produit ne se prête pas aisément à l'établissement d'un mouvement de rotation stable autour de l'axe de coulée. La raison principale tient probablement aux forts gradients de vitesse que cela nécessite dans l'épaisseur d'un produit, laquelle ne dépasse guère une vingtaine de cm pour les plus épais.

En revanche, une configuration en boucles étagées, du type montré sur les figures 3 et 4, se développant sur la hauteur métallurgique parallèlement aux grandes faces du produit ne comporte pas un tel handicap. Elle présente de surcroît l'avantage d'assurer un meilleur échange thermique entre le haut et le bas de la machine de coulée. Le métal en fusion plus chaud du haut est amené en convection forcée vers le bas par les courants descendants 42a et 43a, pendant que les courants remontant 42b et 43b viennent ensemençer le haut en cristallites de métal solidifié collectés dans le bas, favorisant ainsi le développement précoce d'une solidification de type équiaxe large et régulière de la périphérie jusqu'au centre du produit coulé. Cependant, on ne peut développer ces boucles 42, 43 trop vigoureusement vers le haut comme on le voudrait au risque de perturber la surface libre du métal en lingotière. On sait aujourd'hui en effet à quel point la préservation du fragile équilibre hydrodynamique des écoulements en lingotière prévalant à ce niveau est nécessaire à l'obtention de la qualité de surface, sous cutanée et interne du produit coulé.

Or, il se trouve précisément que l'introduction du métal à couler par le haut de la lingotière à l'aide d'une busette immergée à ouïes de sortie latérales s'ouvrant en regard des petites parois de la lingotière s'est quasiment généralisée de nos jours, supplantant la busette droite à sortie axiale unique, dès lors quasiment réservée aux seuls produits longs. Un avantage majeur obtenu sur les écoulements en lingotière réside dans le fait que, comme le montre le schéma de la figure 1 ci-jointe, par un phénomène de rebond contre les petites parois d'extrémité de la lingotière, le jet de métal liquide chaud issu de chaque ouïes latérales 27, 27' de la busette 26, se répartit alors naturellement en deux fractions. Une fraction principale 21 est dirigée vers le bas, dans le sens de l'extraction du produit coulé. L'autre, 22, est réfléchi vers le haut de manière à apporter au voisinage de la surface libre 23 du métal en lingotière l'enthalpie nécessaire pour éviter des phénomènes de figeage du métal coulé au niveau du ménisque, lesquels bien souvent sont la cause d'arrêts accidentels de la coulée. On vise ainsi à réaliser en lingotière un mode de circulation dit en "double boucle", par opposition au mode "simple boucle".

Ce dernier, représenté sur la figure 7, se traduit d'abord par un phénomène de remontée du métal vers le ménisque dès sa sortie des ouïes de la busette, résultant bien souvent d'une injection d'argon d'anti-bouchage dans la busette depuis le répartiteur de coulée situé au dessus. Cette remontée immédiate vers le haut se prolonge ensuite par un courant en surface vers chaque petite face et une redescente le long de celle-ci. De la sorte,

s'établit assez rapidement en lingotière une cartographie des vitesses globalement dirigées vers le bas dans le sens d'extraction du produit avec absence de la boucle supérieure 22 d'apport de métal "chaud" au ménisque.

Le mode "double boucle" n'est toutefois acquis durablement en cours de coulée que si les conditions de coulée s'y prêtent (vitesse de coulée, largeur de la brame, profondeur d'immersion de la busette de coulée, débit d'argon d'anti-bouchage, etc...). Des transitions aléatoires en mode "simple boucle" peuvent apparaître au cours même de la coulée si ces conditions fluctuent, ce qui correspond en fait au cas général.

De surcroît, un aspect essentiel, en terme de maîtrise des écoulements en "double boucle" en lingotière, réside dans la conservation au sein de la lingotière d'une symétrie "gauche-droite" des mouvements de recirculation au ménisque de part et d'autre de la busette. On sait en effet que l'apparition d'asymétries à ce niveau est à l'origine de phénomènes d'oscillations du bain métallique qui peuvent conduire à un phénomène de roulis rédhibitoire de la surface que connaît bien l'opérateur sur le plancher de coulée. Ceci signifie que l'on doit veiller à ce que les courants 22, 22' de recirculation partielle vers le haut soient avant tout stabilisés dans le temps pour éviter l'apparition d'asymétries "gauche-droite". Ces courants ascensionnels, tout en étant suffisamment efficaces thermiquement pour apporter les calories souhaitées au ménisque, ne doivent cependant pas être trop intenses au plan de l'hydrodynamique afin d'éviter de trop agiter la ligne 25 de première solidification qui se forme en bordure du ménisque contre la paroi en cuivre refroidie de la lingotière. La régularité de cette ligne de première solidification est le gage en effet de l'homogénéité de la formation de la première peau dans le haut de la lingotière sans laquelle des risques sont inévitablement encourus de percées sous la lingotière par incrustations de laitier ou par affaiblissements locaux de l'épaisseur de la peau solidifiée.

Dit plus simplement, en coulée avec busette immergée à ouïes latérales, on peut obtenir au cours d'une même coulée de manière aléatoire ou, en tous cas, non nécessairement désirée, des écoulements en lingotière qui sont soit de type "double boucle", soit du type "simple boucle", soit des écoulements instables du fait d'asymétries "gauche-droite".

C'est notamment en raison de ces difficultés de maîtrise des écoulements dans la partie haute des machines de coulée continue que l'on a vu apparaître plus récemment des systèmes de brassage électromagnétique agissant en lingotière déjà sur les jets de sortie latéraux de la busette. Comme le montrent les schémas des figures 2a et 2b ci-jointes, extraites du document JP 1.534.702, des champs magnétiques mobiles horizontalement sont produits par des inducteurs linéaires polyphasés 30a, 30b et 30a', 30b' disposés sur les grandes parois de la lingotière 32 en regard de la trajectoire de sortie des jets de métal de part et d'autre de la busette 31. Selon le réglage du sens de glissement des champs, il est alors possible de freiner le courant du jet concerné (glissement des champs à contre

courant, allant de la petite paroi vers la busette -fig 3b<sub>1</sub>) ou, au contraire, de l'accélérer (glissement à co-courant dans le sens allant de la busette vers la petite paroi-fig 3b<sub>2</sub>). Ceci permet d'ajuster en principe les apports enthalpiques vers la surface du métal coulé en fonction par exemple des conditions de coulée, sans trop perturber le mode d'écoulement en lingotière qui, lui, est à préserver prioritairement.

On voit donc bien, au travers du rapide rappel présenté ci avant de l'état antérieur de la technique, le cloisonnement, voir l'antinomie, qui existe de fait en coulée de produits de section droite allongée entre brassage du métal en lingotière d'un côté et brassage dans le refroidissement secondaire de l'autre.

La présente invention a précisément pour but de surmonter un tel handicap. Autrement-dit, applicable à la coulée continue des produits à section droite allongée, les brames en particulier, l'invention vise, via un mouvement de brassage d'ensemble étudié du métal en fusion selon la hauteur métallurgique, à procurer un bon échange du métal encore liquide dans les deux sens entre la zone du refroidissement secondaire et la lingotière. De ce fait, sera réalisée une homogénéité tant thermique que chimique entre le haut et le bas du puits de métal liquide coulé sans perturber le mode d'écoulement dans la lingotière et, le cas échéant, sans se priver pour autant des effets bénéfiques cumulés propres au brassage en lingotière et au brassage dans le refroidissement secondaire respectivement.

Un but complémentaire de l'invention est de contribuer à l'amélioration de la qualité métallurgique de nuances d'acier dont on recherche une bonne santé interne, comme les nuances pour tôles fortes ou pour les gros tubes soudés, les aciers inoxydables ferritiques, ou les aciers électriques au silicium.

Un autre but complémentaire est de pouvoir agir sur les écoulements dans le secondaire pour les utiliser au niveau des jets de coulée issus de la busette soit comme un agent accélérateur, soit au contraire comme un agent de freinage du métal arrivant en lingotière, soit encore comme un moyen pour contrecarrer les velléités d'asymétrie "gauche-droite" des mouvements du métal au sein de la lingotière.

Avec ces objectifs en vue, l'invention a pour objet un procédé de brassage électromagnétique dans la zone du refroidissement secondaire d'une installation de coulée continue de brames, ou autres produits analogues à section droite allongée, dont la lingotière est dotée d'une busette de coulée immergée à ouïes de sortie latérales dirigées vers les petites faces, procédé de brassage mise en œuvre à l'aide de champs magnétiques glissants générés par des inducteurs polyphasés disposés à proximité du métal coulé, caractérisé en ce que l'on force, dans ladite zone du refroidissement secondaire, l'établissement d'un écoulement longitudinal du métal liquide localisé dans la région médiane du produit coulé selon deux courants colinéaires antagonistes.

Ce faisant, s'établit naturellement une circulation d'ensemble du métal liquide dans le secondaire qui s'organise en une figure de "trèfle à quatre feuilles" ayant deux lobes

supérieurs et deux lobes inférieurs et dont les deux lobes supérieurs s'étendent en lingotière jusqu'au niveau des jets issus des ouïes de sortie de la busette de coulée.

Conformément à une variante, on crée ces deux courants colinéaires antagonistes longitudinaux dans la partie médiane du produit qui s'éloignent l'un de l'autre, de manière que les deux lobes supérieurs qui s'étendent en lingotière jusqu'au niveau des jets issus des ouïes de sortie de la busette de coulée se confondent avec eux en co-courant pour les renforcer.

Conformément à une autre variante, on crée ces deux courants colinéaires antagonistes longitudinaux dans la partie médiane du produit qui convergent l'un vers l'autre de manière que les deux lobes supérieurs qui s'étendent en lingotière jusqu'au niveau des jets issus des ouïes de sortie de la busette de coulée se superposent à eux à contre-courant pour les freiner.

Selon une réalisation particulière du procédé, on décale latéralement la localisation de l'écoulement longitudinal dans le secondaire vers l'une ou l'autre des petites parois du produit coulé afin de contrecarrer les tendances à l'asymétrie "gauche-droite" des mouvements du métal au sein de la lingotière.

Conformément à une mise en œuvre, on crée l'écoulement métallique longitudinal dans la région médiane du produit coulé selon deux courants colinéaires antagonistes à l'aide de champs magnétiques mobiles colinéaires glissants longitudinalement dans la dite région médiane, soit en se rapprochant l'un de l'autre, soit en s'éloignant.

Conformément à une mise en œuvre préférée, on crée l'écoulement métallique longitudinal dans la région médiane du produit coulé selon deux courants colinéaires antagonistes à l'aide de champs magnétiques mobiles colinéaires glissant transversalement selon la largeur du produit coulé, soit en se rapprochant l'un de l'autre du bord vers le centre du produit coulé, soit en s'éloignant l'un de l'autre du centre vers le bord du produit coulé.

Conformément à une autre mise en œuvre préférée, on génère les champs magnétiques glissants à l'aide d'inducteurs linéaires polyphasés que l'on dispose en regard des grandes faces du produit coulé.

En variante, on alimente les inducteurs avec des courants électriques d'intensités différentes, afin de régler différemment l'action sur les deux courants métalliques colinéaires antagonistes créés par les champs magnétiques glissants qu'ils génèrent.

Par glissement "colinéaire" des champs ou des écoulements métalliques, il faut comprendre que les champs magnétiques, respectivement les courants de métal, glissent non pas parallèlement l'un par rapport à l'autre mais sur la même ligne, à l'instar de deux vecteurs colinéaires par rapport à deux vecteurs parallèles.

Comme on l'aura compris, l'invention consiste, dans ses fondements principaux, à créer dans la zone du refroidissement secondaire une croix de brassage à deux branches transversales et deux branches longitudinales. Les branches transversales (ou horizontales si l'on suppose l'axe de coulée vertical) se développent selon la largeur du produit coulé et les deux branches longitudinales (ou verticales) se développent dans la région médiane (le plus souvent axiale) du produit coulé.

Et c'est la formation dans le secondaire d'une telle croix de brassage qui, en raison des écoulements de recirculation en figure à quatre lobes qui en résultent au sein du puits liquide, va créer une configuration globale des mouvements concernant également la région de la lingotière telle que les buts prémentionnés visés par l'invention seront atteints.

L'invention sera bien comprise et d'autres aspects apparaîtront plus clairement au vu de la description qui suit donnée en référence aux planches de dessins annexées sur lesquelles:

- les figures de 1 à 4 sont représentatives de l'art antérieur déjà considéré auparavant.

Plus précisément:

\* la figure 1 est un schéma habituel montrant sommairement en coupe verticale médiane parallèle au grandes parois de la lingotière la cartographie connue des mouvements de circulation du métal liquide arrivant dans une lingotière de coulée continue de brames par une busette immergée dotée d'ouïes de sortie latérales s'ouvrant en regard des petites parois latérales;

\* les figures 2a, 2b<sub>1</sub> et 2b<sub>2</sub> sont des schémas, selon deux vues (en perspective à gauche et en section à droite), de modes connus de brassage électromagnétique en lingotière de coulée continue de brames avec busette immergée à ouïes de sortie latérales (cf. fig.1) à l'aide d'inducteurs polyphasés linéaires logés de part et d'autre de la busette sur chaque grande paroi et produisant des champs magnétiques glissant horizontalement en sens opposés deux à deux sur la même grande paroi, soit dans le même sens que le jet de sortie du métal auquel il est appliqué (fig. 2b<sub>2</sub>), soit en sens contraire (fig. 2b<sub>1</sub> et 2a);

\* la figure 3 est un schéma simplifié montrant en perspective une brame en cours de coulée continue dans la zone du refroidissement secondaire de la machine de coulée. Cette zone est dotée d'une paire d'inducteurs linéaires disposés en regard l'un de l'autre de chaque coté du produit selon la largeur de celui-ci et générant un champ magnétique glissant horizontalement de manière à réaliser un mode de brassage électromagnétique en forme "d'ailes de papillon" connu est par exemple du document FR 72.20546 précité;

\* la figure 4 est un schéma analogue au précédent de la fig. 3, mais montrant un mode de brassage électromagnétique en "triple boucle", tel que réalisé par exemple par la mise en œuvre de l'enseignement du document FR 82.10844 pré-mentionné;

- les autres figures, numérotées de 5 à 9 sont propres à l'invention. Plus précisément:

\* la figure 5 est un schéma général, vu en coupe verticale axiale parallèle aux grandes parois d'une lingotière de coulée continue de brames dotée d'une busette immergée à ouïes de sortie latérales s'ouvrant en regard des petites parois latérales, montrant le principe du brassage global en trèfle à quatre lobes dans la zone du refroidissement secondaire selon l'une des deux mises en œuvre de l'invention dans laquelle les courants antagonistes longitudinaux s'éloignent l'un de l'autre, et la cartographie des mouvements de circulation du métal liquide qui en résulte au sein de cette zone juste en dessous de la lingotière;

\* la figure 6 est un schéma analogue à celui de la figure 5, mais dans le cas où le mode d'écoulement en lingotière est, non plus en "double boucle", mais en "simple boucle";

\* la figure 7a est un schéma qui, sur la base d'une reproduction de la figure 5, montre un moyen de réalisation du brassage en trèfle à quatre lobes à l'aide d'inducteurs linaires à champ magnétique glissant horizontalement;

\* la figure 7b est un schéma analogue à la figure 7a, mais illustrant un autre mode de réalisation de cette mise en œuvre de l'invention à l'aide cette fois d'inducteurs linéaires à champ magnétique glissant verticalement;

\* la figure 8 est aussi un schéma qui sur la base d'une reproduction de la figure 5, illustre un mode préféré de réalisation de l'invention instaurant une circulation complémentaire en mode "double boucle" en lingotière à l'aide d'inducteurs linéaires à champ glissant horizontalement agissant directement sur les jets de métal sortant des ouïes de la busette de coulée;

\* la figure 9 illustre l'autre variante de mise en œuvre de l'invention consistant à créer des écoulements longitudinaux antagonistes dans la partie médiane du produit coulé, non plus divergents, mais convergents.

On rappelle que les figures 1 à 4 ont servi de support à l'exposé de l'art antérieur déjà fait au début de ce mémoire. On y reviendra donc pas dans ce qui suit.

Sur les figures 5 à 9 représentatives du mode de brassage dans le secondaire propre à l'invention dans ces deux variantes (divergents ou convergents au-centre), les champs magnétiques glissants, tout comme les inducteurs linéaires qui les produisent, sont représentés par des flèches verticales ou horizontales épaisses. Les mouvements de convection produits sont eux représentés par leurs trajectoires principales sous forme de traits porteurs de pointes de flèche indiquant le sens de circulation du mouvement sur la trajectoire porteuse. Les traits pleins représentent des zones de convection actives, donc de circulations soumises à l'action de champs magnétiques glissants. Les traits discontinus représentent les zones de convection passive, autrement-dit des zones de re-circulation, qui sont nécessairement complémentaires aux précédentes pour assurer le bouclage des mouvements.

Sur ces figures, les mêmes éléments sont désignés sous des références identiques. Le cas échéant, pour ne pas surcharger inutilement certaines figures, des références récurrentes n'ont pas été portées afin de laisser plus de clarté aux éléments essentiels de l'invention représentés sur ces figures.

5 Sur chacune d'elles on a représenté une lingotière 1 de coulée continue de brames suivie en dessous par la zone 2 du refroidissement secondaire de la machine de coulée, ici volontairement dépouillée des rouleaux de soutien pour ne pas nuire inutilement à la clarté du dessin. Les vues étant dans un plan parallèle aux grandes parois de la lingotière, seules sont visibles en 3 et 3' les petites parois latérales, lesquelles vont  
10 déterminer les petites faces 18, 18' du produit coulé 6. Les grandes faces étant dans le plan des figures, elles ne sont pas référencées sur les figures. Par ailleurs, pour plus de clarté, on désignera sous la référence 6 indifféremment la brame coulée en elle-même ou son cœur encore liquide appelé plus généralement "puits de solidification".

Une busette immergée 4 centrée sur l'axe de coulée A (confondu ici comme  
15 c'est classiquement le cas avec l'axe longitudinal du produit coulé), alimente la lingotière en métal en fusion depuis un répartiteur non représenté situé au dessus. Cette busette est dotée d'ouïes de sorties latérales 5 et 5' tournées chacune en regard de l'une et l'autre des petites parois 3 et 3' respectivement. Le format du produit coulé est déterminé par les dimensions intérieures de la lingotière définissant l'espace de coulée dans lequel arrive le  
20 métal en fusion sous forme de jets 7, 7' sortant des ouïes de la busette 4 classiquement selon une direction moyenne plus ou moins horizontale, ou légèrement inclinée vers le bas. Le produit coulé progresse ainsi du haut, depuis le niveau du ménisque 8, vers le bas, dans le sens d'extraction de la machine de coulée, à la verticale ou selon une trajectoire courbe dans un plan orthogonal à celui de la figure, avec une vitesse d'extraction (vitesse de  
25 coulée) habituellement de l'ordre du mètre par minute. Au cours de sa progression, il se solidifie progressivement depuis sa périphérie jusqu'au centre par extraction de sa chaleur interne, d'abord en lingotière 1 au contact des parois en cuivre refroidi, puis dans la zone du refroidissement secondaire 2 sous l'effet de rampes d'arrosage d'eau.

On rappelle que la hauteur métallurgique (ou profondeur du puits de  
30 solidification), est classiquement définie comme la différence de cotes sur la verticale entre le niveau de la surface libre du métal coulé en lingotière (ou ménisque) et celui du fond de puits de solidification au bas de la zone du refroidissement secondaire, là où se rencontrent les fronts de solidification finissante qui se développent sur chacune des grandes faces du produit coulé à mesure que progresse la solidification.

35 A environ 3 ou 4m sous le ménisque 8, donc au sein de la zone de refroidissement secondaire 2, on repère arbitrairement sur l'axe longitudinal du produit (confondu avec l'axe de coulée A) un point P que l'on qualifiera de centre de la croix de brassage 9 propre à l'invention. Cette croix 9 est une croix à quatre branches, colinéaires

deux à deux: deux branches longitudinales (ici verticales) 10a, 10b, formant une paire alignée sur l'axe de coulée A, et deux branches transversales (ici horizontales) 11a, 11b formant une paire se développant selon la largeur du produit coulé. Dans chacune des deux branches d'une même paire, le métal liquide y circule dans des sens opposés deux à deux.

5 Par ailleurs, la circulation du métal dans une paire est à l'opposée de celle de l'autre paire.

En raison du caractère dimensionnel nécessairement "fini" du produit coulé, ces branches, comme on le voit, sont reliées en quelque sorte entre elles par des boucles de recirculation pour former un écoulement d'ensemble se développant dans le plan des grandes faces du produit coulé en figure de trèfle à quatre feuilles, les feuilles constituant  
10 des lobes L1, L2, L3, L4, dont les deux supérieurs, L1 et L4, s'étendent jusqu'en lingotière au niveau des jets de sortie 7 et 7'.

Ainsi, selon le mode de brassage représenté sur les figures 5 à 8, la paire de branches verticale est en convection de type "divergent". Les courants de métal s'éloignent l'un de l'autre depuis le centre P. L'un, 10a, déflue vers la lingotière 1 située au dessus,  
15 l'autre, 10b, déflue vers le bas, dans le sens d'extraction du produit coulé, en direction du lieu de fermeture du puits de solidification. Dans la paire horizontale 11a, 11b, la convection du métal est alors de type "convergent": les courants métalliques confluent l'un vers l'autre en direction du centre de confluence P en circulant des petites faces latérales du produit vers l'axe longitudinal A.

20 Comme déjà dit, les courants métalliques qui forment ces branches sont créés par des champs magnétiques glissants, eux mêmes générés par des inducteurs linéaires disposés à proximité immédiate du produit coulé en regard de ces grandes faces (de préférence les deux faces). Bien entendu, il n'est pas nécessaire que les deux paires de branches soient simultanément activées par les champs magnétiques. Seule une peut l'être,  
25 par exemple les branches verticales 10a, 10b, l'autre, 11a, 11b, devenant alors naturellement le siège d'une recirculation par réaction, car le centre P fonctionne comme un nœud de passage de courants qui conserve les débits massiques et les quantités de mouvement, et réciproquement.

Par contre, selon ce premier mode de brassage de l'invention, il importe que  
30 les branches verticales 10a et 10b soient défluentes, comme montré sur les figures 5 à 8. Dans les lobes supérieurs L1 et L4 proches de la lingotière, le métal remonte alors au centre et descend le long des petites faces, et inversement dans les lobes inférieurs L2 et L3.

Il se trouve que dans ces conditions, la mise en œuvre de l'invention  
35 maximise les échanges de matière métallique entre le bas et le haut du puits liquide. D'une part, en effet, la circulation en boucle du métal dans un lobe quelconque s'effectue dans un sens de rotation opposé à celui qui s'établit dans les deux lobes les plus proches voisins. D'autre part, la vigueur des jets de coulée 7 et 7' se trouvant alors systématiquement



renforcée par le flux central 10a remontant à co-courant, les boucles de recirculation L5 et L6 en lingotière vers le ménisque 8 vont se trouver renforcées à leur tour. Par conséquent, le mode "double boucle" L5, L1, L4 et L6 présent au sein de la lingotière se trouve ainsi de surcroît stabilisé.

5 De la sorte, on comprend aisément que tout élément de métal liquide (que l'on isolera par la pensée à un endroit arbitraire de la hauteur métallurgique) aura une probabilité élevée de se retrouver, par emprunt aléatoire de courants ascendants ou descendants successifs, au moins une fois en lingotière avant de redescendre s'il se trouve initialement dans la zone du refroidissement secondaire et réciproquement si on le choisit  
10 initialement en lingotière, étant entendu que globalement il subira nécessairement un déplacement moyen vers le bas dans la direction d'extraction avec une vitesse moyenne égale à la vitesse de coulée. Dit autrement, cette mise en œuvre de l'invention maximise l'échange de matière métallique en fusion entre les zones chaudes de la lingotière et celles plus froides du secondaire et ce en renforçant en lingotière les moyens connus propres à y  
15 stabiliser le mode "double boucle".

Un tel échange contribue notamment à une meilleure évacuation de la surchauffe ainsi qu'à l'avènement d'une solidification du métal de type équiaxe précoce et ample, sans risque de perturber le mode d'écoulement en lingotière, au contraire en renforçant la stabilité de la symétrie "gauche-droite" des mouvements de part et d'autre de  
20 la busette, et ce quelque soit le mode local présent: "double boucle" -cf. fig. 5-, ou "simple boucle" -cf. fig. 6- donc en contrecarrant la tendance aléatoire naturelle de transition d'un mode vers l'autre..

Comme déjà dit, les branches 10 et 11 de la croix de brassage 9 sont générées par l'action appliquée à ces endroits de champs magnétiques glissants. Les lignes de force  
25 de ceux-ci sont orthogonales à la surface du produit coulé, ou du moins présentent une composante principale orthogonale pour maximiser le couplage électromagnétique avec le métal liquide.

Il est bien connu que de tels champs peuvent être aisément produits par des inducteurs linéaires polyphasés classiques.

30 La figure 7a illustre une première mise en œuvre de l'invention selon laquelle deux inducteurs linéaires identiques 12 et 13 sont placés horizontalement au même niveau en hauteur sur la machine de coulée (inducteurs colinéaires) de part et d'autre de l'axe de coulée et montés en opposition de manière à créer des champs magnétiques colinéaires glissants transversalement selon la largeur du produit coulé, des petites faces 18, 18' vers le  
35 centre. Ces inducteurs sont avantageusement dimensionnés de manière à générer chacun un champ magnétique glissant, selon une branche active de convection (11a ou 11b), de longueur égale à un peu moins de la moitié de la demi largeur de la brame coulée 6.

Dans ce cas, la force motrice de brassage est donnée par les branches transversales convergentes 11a, 11b de la croix de brassage, et les flux défluent longitudinaux 10a, 10b, sont alors obtenus après passage du point de confluence P.

La figure 7b illustre une seconde mise en œuvre, équivalente à la précédente quant aux effets obtenus. Selon cette seconde variante, les inducteurs linéaires colinéaires 14 et 15 montés en opposition sont disposés verticalement, sur l'axe de coulée. De cette manière, on active cette fois directement les branches longitudinales 10a et 10b (dont la présence au sein du secondaire est à la base même de l'invention), l'inducteur supérieur 14 générant alors un champ magnétique glissant vers le haut de la machine de coulée en direction de la lingotière, l'inducteur inférieur 15 produisant un champ glissant vers le bas en direction du fond du puits.

La figure 8 illustre un mode de réalisation préféré de l'invention. Il consiste à transformer le bord supérieur des lobes de recirculation supérieurs L1 et L4 venant renforcer les jets de coulée 7 et 7' en zones de convection active. Pour cela, on adjoint à la paire d'inducteurs déjà présents dans le refroidissement secondaire pour créer la croix de brassage 9, deux inducteurs linéaires supplémentaires 16, 17 à champs glissants horizontaux disposés colinéairement de part et d'autre de la busette 4 au niveau des jets de métal 7 et 7' sortant des ouïes 5 et 5' et glissant en co-courant avec lesdits jets, de la busette vers les petites parois 3, 3' de la lingotière 1. L'effet de convergence entre les jets et le flux central remontant du bas se trouve ainsi encore raffermi et, par voie de conséquence, le régime local de type "double boucle" en lingotière également.

La figure 9, analogue à la figure 5, s'en distingue cependant de manière essentielle par le fait que les sens de circulation du métal dans chacune des quatre branches de la croix 9 sont inversés. Cette figure 9 illustre ainsi la seconde variante principale de mise en œuvre de l'invention qui consiste à créer des courants colinéaires antagonistes longitudinaux 20a, 20b dans la partie médiane du produit coulé 6 qui cette fois convergent l'un vers l'autre en direction du point P de manière à procurer une circulation d'ensemble du métal liquide qui s'étende en lingotière 1 par des courants remontant le long des petites faces 18, 18' jusqu'au niveau des jets de métal 7, 7' issus des ouïes de sortie 5, 5' de la busette avec lesquels ils s'opposent en contre-courant pour les freiner.

On retrouve globalement une configuration de brassage dans le secondaire à quatre lobes L1 à L4, et dont les boucles tournent donc en sens contraire par rapport à la première variante. Toutefois, en raison de l'effet antagoniste des lobes supérieurs L1 et L4 sur les jets 7 et 7', les courants de retour du métal vers le bas dans la partie centrale du puits liquide sont moins canalisés et confinés, mais beaucoup plus diffus et dispersés dans la section du produit que dans ladite première variante.

On comprend que ces deux variantes principales ne sont en réalité que deux facettes différentes et complémentaires de la même invention et qui peuvent être présentes

conjointement lors de la mise en œuvre du procédé de brassage. Il sera en effet aisé de modifier en dynamique les sens de glissement des champs magnétiques agissants, par exemple en inversant les polarités des inducteurs qui les produit, de manière à pouvoir à la demande freiner ou accélérer les courants des jets de coulée 7, 7' à partir d'une action de brassage localisée dans le secondaire loin de ces jets.

On voit donc qu'un intérêt déterminant de l'invention est d'assurer un bon échange haut/bas dans le puits liquide tout en pouvant agir à distance sur les jets de coulée en lingotière, et ce à l'aide d'un montage simple et rustique d'un équipement de brassage électromagnétique dont les composants sont largement disponibles dans le commerce.

Comme on l'aura bien compris, l'invention consiste, en somme, à utiliser judicieusement les moyens de brassage électromagnétique actuellement disponibles pour réaliser dans le secondaire un découpage dans le sens long du produit en deux brins juxtaposés et, dans chaque brin, à installer une configuration de brassage de type ailes de papillon. Ce faisant, on crée un système d'écoulement d'ensemble dans le secondaire à quatre lobes dont le cœur est la croix de brassage 9 avec son centre P.

De préférence, pour des raisons évidentes de symétrie, ce partage en deux brins se fera à mi-largeur du produit coulé, c'est-à-dire selon l'axe longitudinal de celui-ci, car cet axe se confond généralement avec l'axe de coulé.

Cela dit, il suffira de déséquilibrer les forces de brassage entre les deux branches transversales 11a, 11b, par exemple via un réglage différencié des intensités des courants électriques alimentant les inducteurs 12, 13, pour déplacer latéralement la position médiane du centre P vers une petite face 5 ou vers l'autre 5' et ainsi obtenir sur les mouvements en lingotière un effet plus sélectif d'un côté de la busette que de l'autre.

De même, un déséquilibre analogue sur les branches longitudinales 10a, 10b permettra, avec un équipement de brassage donné, un déplacement vers le haut ou vers le bas du centre P de la croix de brassage sans avoir à modifier l'emplacement de cet équipement sur la machine de coulée.

Certes, si l'on veut pouvoir intervenir conjointement sur ces deux possibilités de réglage de la position du centre P de la croix de brassage, il faudra doter le secondaire d'un équipement à quatre inducteurs de manière à pouvoir activer électromagnétiquement chacune des quatre branches 10a, 10b, 11a et 11b.

Quelque soit son mode de mise en œuvre, l'invention procure un brassage d'ensemble du métal sur la hauteur métallurgique apte à assurer une homogénéité tant thermique que chimique entre le haut et le bas du puits liquide sans pour autant se priver des effets bénéfiques propres aux brassages en lingotière et dans le refroidissement secondaire respectivement, et sans perturber, voire en stabilisant, le mode d'écoulement local dans la lingotière.

Il va de soi que l'invention ne se limite pas aux exemples décrits ci-avant, mais qu'elle s'étend à de multiples variantes ou équivalents dans la mesure où est respectée sa définition donnée dans les revendications qui suivent.

- 5      Ainsi, par exemple, si les inducteurs linéaires à utiliser ont classiquement une structure plane, cette disposition n'est que préférentielle. Peuvent également convenir, des inducteurs de forme courbe pour épouser au mieux la forme de la surface de la brame là où ils sont placés sur la hauteur métallurgique.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de brassage électromagnétique dans la zone du refroidissement  
5 secondaire d'une installation de coulée continue de produits métalliques de section droite allongée dont la lingotière est dotée d'une busette de coulée immergée à ouïes de sortie latérales dirigées vers les petites faces, procédé de brassage mis en œuvre à l'aide de champs magnétiques glissants générés par des inducteurs polyphasés disposés à proximité  
10 du métal coulé, caractérisé en ce que, dans le but de favoriser les échanges de métal liquide au sein du puits de solidification (6) entre la zone du refroidissement secondaire (2) et la lingotière (1), on force dans ladite zone du refroidissement secondaire l'établissement d'un écoulement métallique longitudinal localisé dans la région médiane du produit coulé selon deux courants colinéaires antagonistes (10a, 10b ou 20a, 20b) et procurant une circulation  
15 d'ensemble du métal liquide en figure de "trèfle à quatre feuilles" ayant deux lobes supérieurs et deux lobes inférieurs, et dont les lobes supérieurs (L1, L4) s'étendent en lingotière jusqu'au niveau des jets (7, 7') issus des ouïes de sortie (5, 5') de la busette de coulée immergée (4).

20 2. Procédé de brassage selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on crée lesdits courants colinéaires antagonistes longitudinaux (10a, 10b) dans la partie médiane du produit coulé s'éloignent l'un de l'autre, de manière que lesdits deux lobes supérieurs (L1, L4) qui s'étendent en lingotière jusqu'au niveau des jets (7, 7') issus des ouïes de sortie (5, 5') de la busette de coulée se confondent avec eux en co-courant pour les renforcer.

25

3. Procédé de brassage selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on crée lesdits courants colinéaires antagonistes longitudinaux (20a, 20b) dans la partie médiane du produit coulé convergent l'un vers l'autre de manière que les deux lobes supérieurs (L1, L4)  
30 qui s'étendent en lingotière jusqu'au niveau des jets (7, 7') issus des ouïes de sortie (5, 5') de la busette de coulée se superposent à eux à contre-courant pour les freiner.

4. Procédé de brassage selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on  
35 décale latéralement la localisation l'écoulement longitudinal médian dans le secondaire vers l'une ou l'autre des petites faces du produit coulé.

5. Procédé de brassage selon les revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que l'on crée l'écoulement métallique longitudinal dans la région médiane du produit coulé selon deux courants colinéaires antagonistes à l'aide de champs magnétiques mobiles colinéaires qui glissent longitudinalement dans la dite région médiane, soit en se rapprochant l'un de l'autre, soit en s'éloignant.

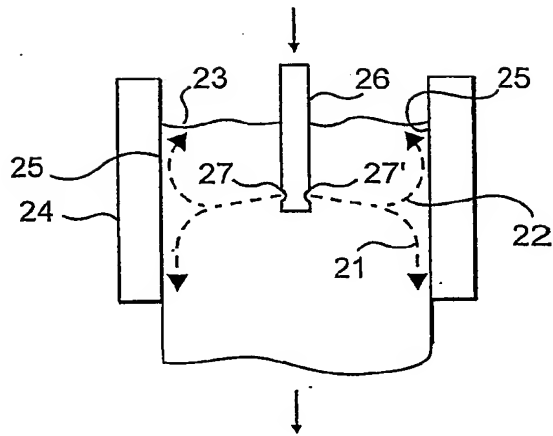
6. Procédé de brassage selon les revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que l'on crée l'écoulement métallique longitudinal dans la région médiane du produit coulé selon deux courants colinéaires antagonistes à l'aide de champs magnétiques mobiles colinéaires qui glissent transversalement selon la largeur du produit coulé, soit en se rapprochant l'un de l'autre du bord vers le centre du produit coulé, soit en s'éloignant l'un de l'autre du centre vers le bord du produit coulé.

7. Procédé de brassage selon l'une quelconque de revendications précédentes caractérisé en ce que l'on génère les champs magnétiques glissants à l'aide d'inducteurs linéaires polyphasés que l'on dispose en regard des grandes faces du produit coulé.

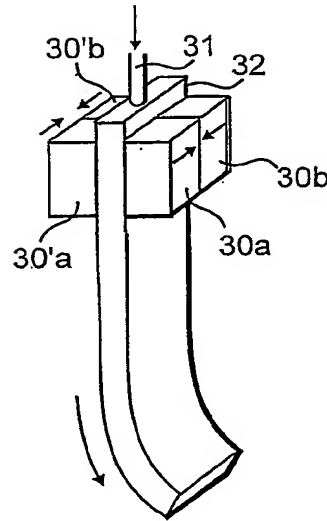
8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'on alimente les inducteurs avec des courants électriques d'intensités différentes.

9. Procédé selon l'une quelconque de revendications précédentes caractérisé en ce que l'on utilise en outre des champs magnétiques mobiles-glissants qui agissent directement en lingotière (1) sur les jets de métal (7, 7') sortant des ouïes (5, 5') de la busette (4).

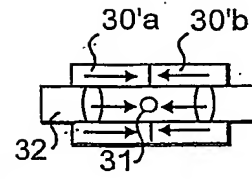
10. Produit métallique de section droite allongée issu d'une installation de coulée continue dont la zone du refroidissement secondaire est le siège d'une opération de brassage électromagnétique conforme à celui défini dans la revendication 1.



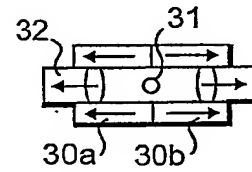
**Fig. 1**  
(prior art)



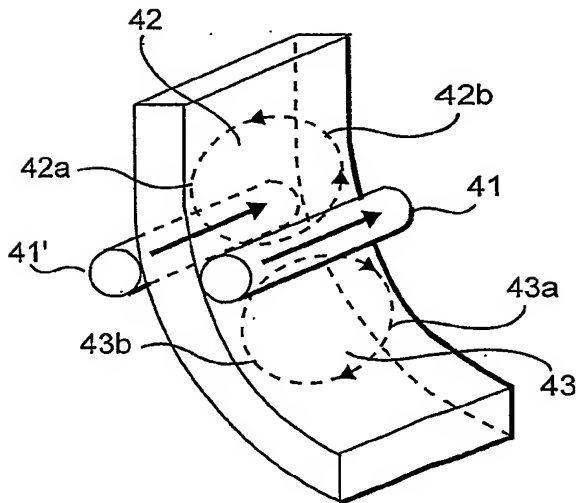
**Fig. 2a**  
(prior art)



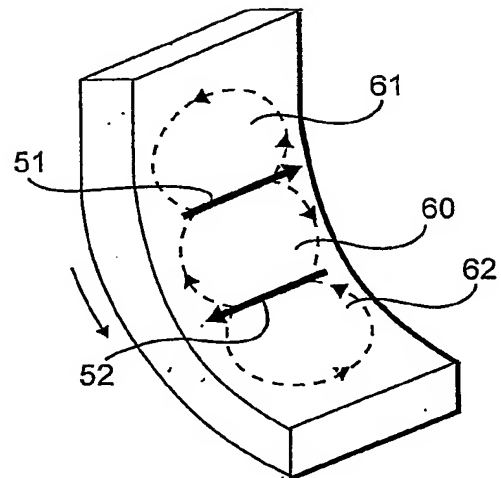
**Fig. 2b<sub>1</sub>**



**Fig. 2b<sub>2</sub>**



**Fig. 3**  
(prior art)



**Fig. 4**  
(prior art)

